

地球で一番多い虫？ 海産自由生活性線虫の多様性

Biodiversity of free-living marine nematodes — the most numerous animal on Earth?

国立科学博物館 分子生物多様性研究資料センター 嶋田 大輔 (Shimada, Daisuke)

はじめに

線虫（センチュウ）は線形動物門に所属する虫の総称で、文字通り手も足もなく1本の線のような生き物である（図1-3）。線虫と聞いてピンとくる読者はそもそも少数派と推察されるが、その方々がイメージする線虫も動物に寄生するアニサキスやカイチュウであったり、農作物に寄生するネコブセンチュウやネグサレセンチュウであったり、動物実験に用いられる陸産線虫シー・エレガンスであったりして、本稿で扱う海産の自由生活性線虫である可能性はきわめて低いと思う。

寄生性の線虫は医学上の関心事として古くから注目されてきた。たとえば、WHOをはじめ幾多の医療機関がギリシャ神話に由来する「アスクレピオスの杖」をシンボルマークに用いている。これはヘビが巻き付いた杖の意匠であるが、本来は大型の人体寄生線虫メジナチュウ（メジナ虫）を棒で巻き取って傷口から引っ張り出す治療法を表したものとされている（石橋2003）。それに対して自由生活性、つまり寄生性ではない線虫が人間に認識されたのは17世紀のことである（石橋2003）。線虫が海岸や海底の砂泥にも存在することが知られるようになったのはさらに後で、確実に海産自由生活性線虫だといえる新種記載はフランスのDujardin (1845) が嚆矢と思われる。

海産線虫はメイオセントスの一員に該当する。メイオセントス全般については本誌111号にて詳しく解説されている（山崎2021）ので割愛するが、一言でいえば「1 mm の網目を抜けて0.032 mm の網目に引っかかる水底の生きもの」である。海産線虫には1 mm を超える種も多数含まれており、大きい種では5 cm に達することもある。しかし、その細長いシルエットから想

像できるように、縦にすれば大型種でも1 mm の網目を容易に通り返けてしまう。海産線虫は巨大なメイオセントスなのである。

知られざる海産線虫の多様性

これまでに世界から知られている海産線虫は多くとも1万種前後と思われる（嶋田2022）。適当な海岸に行き砂や泥を300 ml ほどすくい取り、水道水を入れたバケツの中でよくかき混ぜ、上澄みを0.032 mm の網で濾すことを何度か繰り返す（山崎ほか2019）と、少なくとも数十個体、下手をすれば数千個体の線虫が得られる。しかし、それらを顕微鏡で観察して種名を同定したいと思っても、既知種に同定できることは滅多にない。見つかる種のほぼすべてが未記載種なのである。これを白山（1993）は「宝くじを当てるようなもの」と表現しており、その状況は当時から30年経った今も変わっていない。

では、海産線虫の未記載種は実際どれほど残されているのだろうか。さまざまな根拠に基づいてさまざまな推定値が出されており、解明済みの部分が小さすぎて全貌が見えないことがうかがえる。最も楽観的な値は約2万種（Gerlach 1980）で、これはかなり研究が進んでいるヨーロッパ沿岸を基準にしているため、今日では相当な過小評価と考えられる。逆に悲観的な値としては、100万種から1億種という主張がそれなりの根拠をもって提出されている（Lambshad 2004；白山2009）。数字のインパクトから後者の1億種はよく引き合いに出されるが、提唱した本人も現実的な推定値というよりは理論上の上限値という意図のようである。いずれにしても全種数に対して既知種数が絶望的に少ないことだけは間違いない。地球上でもっとも種数が多いとされる昆虫の既知種が100万種、未記載種も合わせると

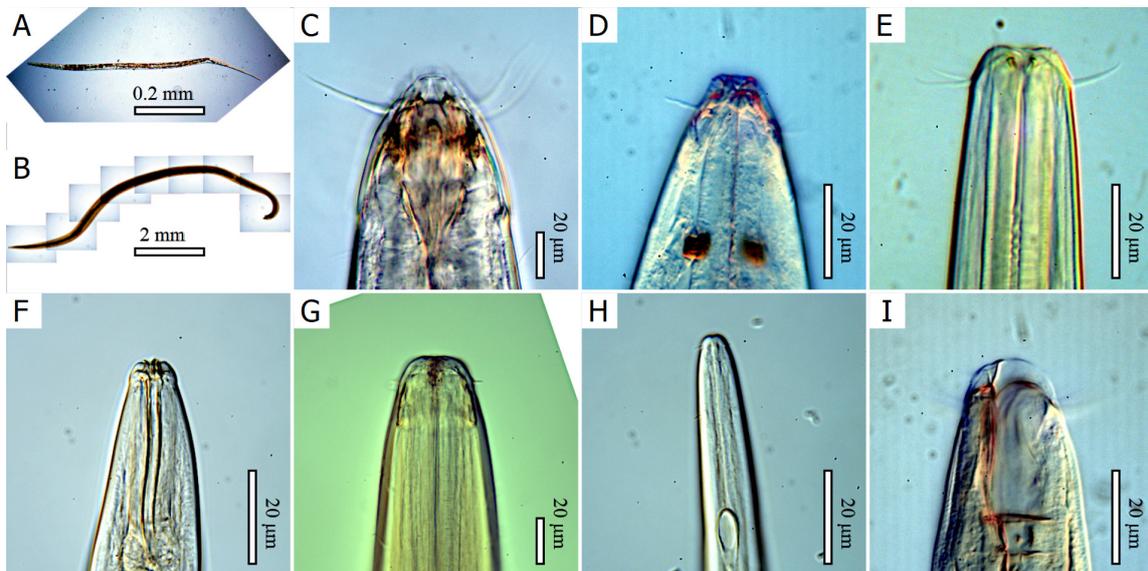


図1 海産自由生活性線虫。A：体長1 mm 未満の小型種。B：体長1 cm 以上の大型種。C：エノブルス目トラコストモプシス科の一種。D：エノブルス目ファンデルマ科の一種。E：エノブルス目アンチコーマ科の一種。F：イロヌス目イロヌス科の一種。G：イロヌス目レプトソマトウム科の一種。H：イロヌス目オクシストミナ科の一種。I：トリピロイデス目トリピロイデス科の一種。

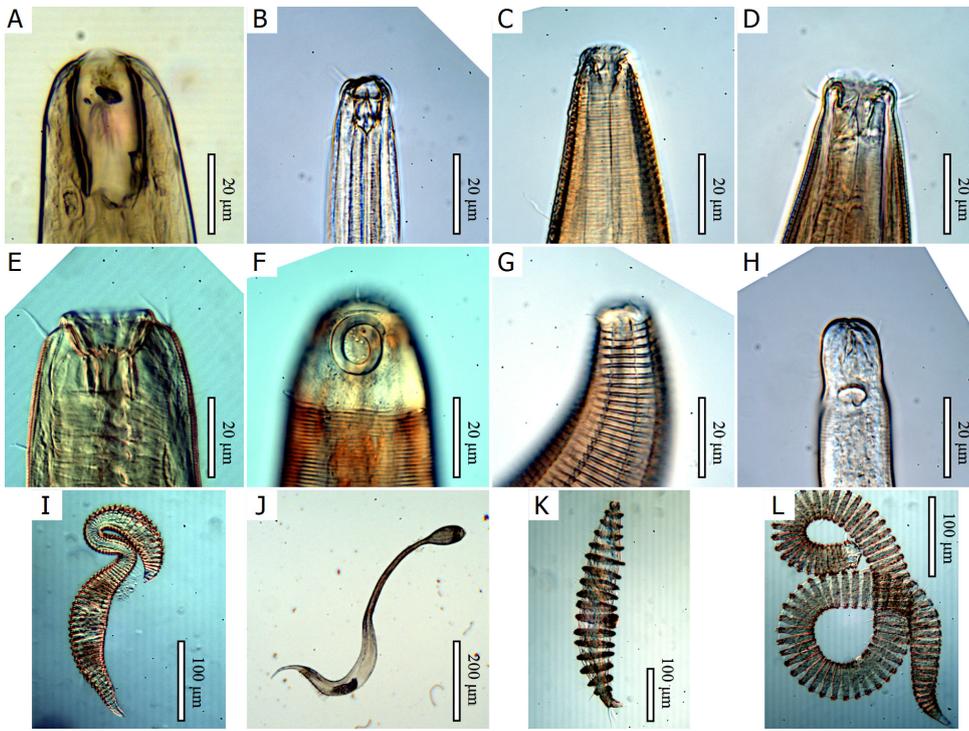


図2 海産自由生活性線虫。A: オンコライム目オンコライム科の一種。B: オンコライム目エンケリディウム科の一種。C: クロマドラ目クロマドラ科の一種。D: クロマドラ目キアトライム科の一種。E: クロマドラ目セラキネーマ科の一種。F: デスマドラ目デスマドラ科の一種。G: デスマドラ目モノポスチア科の一種。H: デスマドラ目ミクロライムス科の一種。I: デスマドラ目エプシロネーマ科の一種。J: デスマドラ目リュウセンチュウ科(ドラコネーマ科)の一種。K: クサリムシ目クサリムシ科(デスマスコレックス目デスマスコレックス科)の一種。L: クサリムシ目メイリア科の一種。

数千万種と思われるので、寄生性も含めた線虫の総種数は昆虫を上回る可能性がある。なお寄生虫には宿主特異性があるため、あらゆる昆虫にそれぞれ1種の線虫が寄生するとすれば寄生性線虫だけで昆虫の種数を抜くという説もある(白山2009)。

日本近海に目を向けてみるとどうなるか。日本から記載された海産線虫70種を吉川(1992)がリスト化して以降、本邦での先駆者である鬼頭研二博士が2種、筆者が15種、外国人研究者が4種を追加したのみで合計はわずかに91種に過ぎず、分類学以外の研究で種名が同定されたものを加えても124種である(嶋田2022)。全既知種数が約1万種であるから、およそ1%でしかない。この比率から世界の海産線虫の1%が日本近海にいると仮定すると、海産線虫の全種数が100万種だとしても日本近海には1万種がいることになり、完全に解明するにはあと9,900種ほど見つけて同定・記載する必要がある。海岸線の総延長や排他的経済水域の面積から考えると1%という数字はかなり控えめであり、日本には海産線虫の分類学者がほとんどいなかった(筆者が史上3人目)ことから、未記載種の比率はもっと高そうに思える。これまでに生態学的研究などを通じて報告された未同定種たちがすべて別種だとしても合計は1,000種に届かないので、大部分の未記載種ははまだ人間の目に触れたことすらないと推測される。

海産線虫と出会うには

海産線虫は非常に細く形態形質にも乏しいため、既知種であっても種同定が難しい動物である。しかしながら、正体不明で良ければ採集すること自体は容易に体験できる動物でもある。先にも述べたが、用意するものはバケツと網、あとは砂や泥を持ち帰るためのスコップとタッパー程度で事足りる。小型個体まで残らず回収するには0.032 mmのプランクトンネットを専門店で購入し、観察には実体顕微鏡を使う必要があるが、比較的大型の種だけならストッキングや洗濯機のくず取りネットで回収し、少量の海水とともに黒いプラスチックの容器(なければ黒い紙やゴムシートに透明な容器を載せる)にあけてルーペや虫眼鏡で探すだけでもそれなりに発見できる。

最もアプローチが容易で、なおかつ大型の線虫が出現しやすいフィールドは磯のタイドプールである。砂利に近い大粒の砂や貝殻の破片を含む砂は生物が少ないので避け、泥を多く含む細かい砂を探すといい。中には酸素不足のために真っ黒に変色して温泉のような硫黄臭がする砂もあるが、線虫はそのような過酷な環境にも平気で棲めるので心配はいらない。また、ホンダワラ類などの海藻、スガモなどの塩生種子植物の根、イガイ類などの固着二枚貝を水道水で洗っても、それぞれ異なる種類の線虫が得られるはずである。海藻は粘り気が出て網目が詰まりやすく、固着二枚貝はヘラなどでかき取る必要があるために少し手間はかかるものの、運が良ければ1 cm以上の大型種に出会えるかもしれない。

砂浜や干潟は、さらにたくさんの線虫に出会える上級者向けのフィールドである。タイドプールと違っていつでも砂や泥を手にとることができるが、それでも最干潮時に採集するのが鉄則なので気を付けたい。潮上帯や潮間帯上部の砂は間隙性のゴカイなど他の動物が優占して大型の線虫はほとんどいないことがよくあり、日本海側では時に潮下帯上部までその傾向がみられる。採集には胴長靴と長柄の柄杓などを用意するか、いっそのこと水着で海に入り、潮下帯のなるべく下から表層の砂を広く浅く採取するのが確実といえる。線虫が最も多く出現するのは干潟の泥からであるが、大部分は小型種のため目の粗い網では回収できず、0.032 mmの網では泥粒子が頻りに詰まってしまう。手軽に観察できるのはゴミの多い粗めの砂で、網目より小さな線虫もゴミに絡まって一緒に回収できることが多々あるため、労力のわりにはいろいろな線虫を見ることができる。

さらに上級者向けのフィールドは、自分では手の届かない浅海から深海の海底である。残念ながら筆者は船酔いがひどいため自分で調査船に乗った経験はほとんどなく、ありがたいことに他の分類群の研究者から混獲された線虫を分けていただくことで多くの材料を得ている。海底のメイオセントスを採集する方法は大きく二通りあり、1つは底引き網、もう1つは泥をそのまま回収する採泥器である(白山&赤坂2015; 山崎ほか2019)。特に、クッキーの型抜き要領で大量の泥を引っこ抜

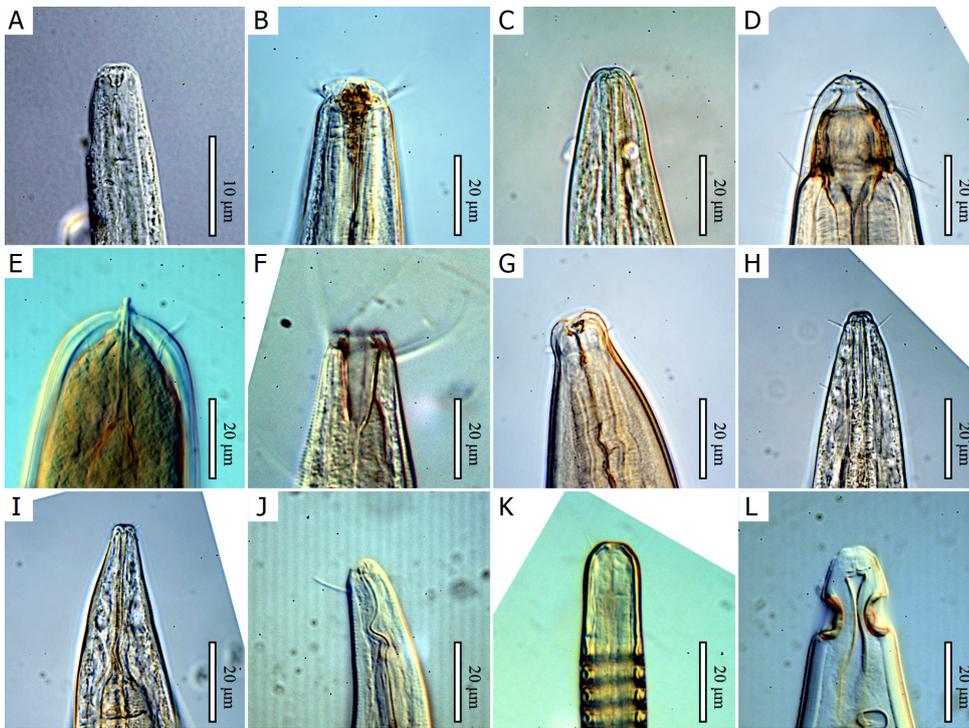


図3 海産自由生活性線虫。A: モンヒステラ目モンヒステラ科の一種。B: モンヒステラ目クシャラ科の一種。C: モンヒステラ目リンホモエウス科の一種。D: モンヒステラ目スフェロライムス科の一種。E: モンヒステラ目シフォノライムス科の一種。F: アレオライムス目アクソノライムス科の一種。G: アレオライムス目コメゾマ科の一種。H: アレオライムス目ディプロベルティス科の一種。I: アレオライムス目ポドネマ科の一種。J: レプトライムス目レプトライムス科の一種。K: レプトライムス目ケラモネマ科の一種。L: レプトライムス目アエギアロアライムス科の一種。

くボックスコアラは、微小なメイオベントスまで根こそぎ採集できるので強力といえる。深海の調査は手法的な制約もあって線虫を余さず採集することは難しいが、深度8,000 m前後にも1 cm 級の大型線虫が生息していること、浅海と深海に共通のグループはかなり多いこと、深海でも調査のたびに未記載種がいくらかでも見つかることなどがわかっている。

深入りしたい方のために

日本国内で海産線虫の新種記載を専門としている現役の研究者は筆者ただ1人であるが、海産線虫を扱った生態学的研究は現在も散発的に行われている。筆者のもとに線虫の同定依頼が持ち込まれることが年々多くなってきているのも嬉しいことである。本稿を終えるにあたって、海産線虫の属レベルの同定に役立つ文献をいくつか紹介したい。海産線虫に関心のある研究者、教材としての利用を検討している教育者のお役に立てれば幸いである。

世界中で最も広く使われているのは、イギリスの全種を網羅した3冊組の図鑑 (Platt & Warwick 1983, 1988; Warwick et al. 1998) に収録されている属の検索表である。簡単な文章とイラストを参照することで、既知属のおよそ6割程度は同定可能と思われる。原書の入手は難しいが、国内の大学図書館に所蔵されている。それ以降に出版された文献では、淡水線虫の本だが海産線虫の同定にも役立つ Eyualem-Abebe et al. (2006)、同定ガイドとしては使いにくい他文献にない属もカバーしている Schmidt-Rhaesa (2014)、本誌111号 (山崎 2021) でも紹介された Schmidt-Rhaesa (2020) の3つが比較的容易に入手できる。日本語の同定ガイドは野澤 & 吉川 (1988) が唯一のもので、対象は限られた分類群だけである。

謝辞

本稿で紹介した線虫の一部は、公益財団法人水産無脊椎動物研究所2019年度個別研究助成、および JSPS 科研費21K06299の助成を受けて採集・同定した。

引用文献

Dujardin F. (1845) Histoire naturelle des helminthes ou vers intestinaux. Librairie encyclopédique de Roret.

Eyualem-Abebe, Andrassy I. and Traunspurger W. (2006) Freshwater Nematodes: Ecology and Taxonomy. CABI Publishing.

Gerlach S.A. (1980) Development of marine nematode taxonomy up to 1979. Veroff. Inst. Meeresforsch. Bremerh. 18: 249-255.

石橋信義 (2003) 線虫の生物学. 東京大学出版会.

Lambshhead P.J.D. (2004) Marine nematode biodiversity. In Nematology: Advances and Perspectives. Volume I. Tsinghua University Press.

野澤治治, 吉川信博 (1988) 水棲自由生活線虫の属までの同定: クロマドラ目. 鹿児島大学.

Platt H.M. and Warwick R.M. (1983) Free-living Marine Nematodes Part I: British Enoplids. Cambridge University Press.

Platt H.M. and Warwick R.M. (1988) Free-living Marine Nematodes Part II: British Chromadorids. E.J. Brill/Dr W. Backhuys.

Schmidt-Rhaesa A. (2014) Handbook of Zoology. Gastrotricha, Cycloneuralia and Gnathifera Volume 2: Nematoda. De Gruyter.

Schmidt-Rhaesa A. (2020), Guide to the Identification of Marine Meiofauna. Verlag Dr. Friedrich Pfeil.

嶋田大輔 (2022) 線形動物門—近年に日本から記載された海産自活性15種. In 海産無脊椎動物多様性学—100年の歴史とフロンティア. 京都大学出版会.

白山義久 (1993) 深海産線虫の生態的特徴. 日本線虫学会誌 23: 116-122.

白山義久 (2009) 海洋生物の多様性をいかにして理解するか. In 海洋の生命史—生命は海でどう進化したか. 東海大学出版会.

白山義久, 赤坂憲雄 (2015) 海の底深くを探る: フィールド科学の入口. 玉川大学出版部.

Warwick R.M., Platt H.M. and Somerfield P.J. (1998) Free-living Marine Nematodes Part III. Monhysterids. Field Studies Council.

山崎博史 (2021) 砂の隙間に暮らす動物たち—多様性の宝庫, メイオベントス. うみうし通信 No. 111: 2-4.

山崎博史, 藤本心太, 田中隼人 (2019) 海産メイオベントス (小型底生動物) の採集および抽出方法. タクサ 46: 40-53.

吉川信博 (1992) 日本産自由生活性海産線虫の研究概観. In 線虫研究の歩み. 日本線虫研究会.